

## Construcción de una bóveda de crucería en el Centro de los Oficios de León

Enrique Rabasa Díaz

Esta experiencia se ha desarrollado como parte de la elaboración de un libro dedicado a la práctica de la estereotomía. El Centro de los Oficios de León ha publicado varios títulos, como es conocido, para los que se sigue siempre el mismo esquema: en un reportaje fotográfico se registra el trabajo real de ejecución artesanal de elementos constructivos, y, a partir de las fotografías, un equipo de dibujantes obtiene dibujos a línea que, acompañados por un texto, explican claramente el proceso. Hace unos cinco años el entonces director Francisco Azcónegui me propuso llevar a cabo uno dedicado a la estereotomía, que ahora está ya casi a punto para ser publicado. Se han ejecutado algunos tipos de arcos y bóvedas representativos de los problemas teóricos y prácticos más característicos del corte de piedras. En el trabajo de coordinación con los canteros ha sido indispensable la colaboración de Agustín Castellanos, quien transmitía de forma cotidiana mis dibujos y explicaciones, ha trabajado en la maquetación del libro y la elaboración de algunos dibujos, y ha hecho las fotografías que aquí vemos. El trabajo de labra ha sido desarrollado por los alumnos del Centro bajo la dirección del monitor Carlos Rodríguez.

Ofrecemos aquí algunas imágenes generales, especialmente del montaje, remitiendo a los interesados en el detalle de la traza y la talla a la futura publicación. La bóveda ha sido montada en la sede actual del Centro, uno de los claustros de San Isidoro de León, aunque se prevé su traslado. De hecho se ha buscado facilitar su instalación en otros lugares, dise-

ñando un andamiaje fácil de recoger y empleando yeso en la colocación de las piezas.

Se eligió una bóveda de crucería estrellada con terceletes y cinco claves, que es un modelo relativamente frecuente y sencillo, y que aparece en casi todos los tratados impresos o manuscritos que, ya en la edad moderna, se han preocupado por el tema. El más antiguo de entre estos tratadistas es Hernán Ruiz (1558), que incluye en su manuscrito un esquema para una bóveda de este tipo, muy simple, como corresponde a la traza gótica. Si bien la planta construida es idéntica a ésta, para hacer más general el modelo no hemos seguido estrictamente el diseño de los nervios de Hernán Ruiz.<sup>1</sup>

En un principio se pensó en disponer contrafuertes como los que aparecen en la figura, indicando de manera muy didáctica la necesidad de contrarrestar el empuje, pero finalmente fueron sustituidos por tirantes perimetrales, pues añadían un coste sin correspondencia con su utilidad de cara a la experiencia, y ocupaban espacio.

Se trazó la planta, como en el dibujo de Hernán Ruiz y en tantos otros, dirigiendo los terceletes hacia los puntos de intersección de la circunferencia circunscrita con los ejes del cuadrado. De esa manera la proyección del tercelete es bisectriz del ángulo entre el nervio ojivo o diagonal y el arco de cabeza. El cuadrado interior tiene tres metros de lado, luz libre de los arcos perimetrales. Con estas dimensiones la bóveda no es demasiado grande, pero alcanza a las que podemos encontrar en los claustros.

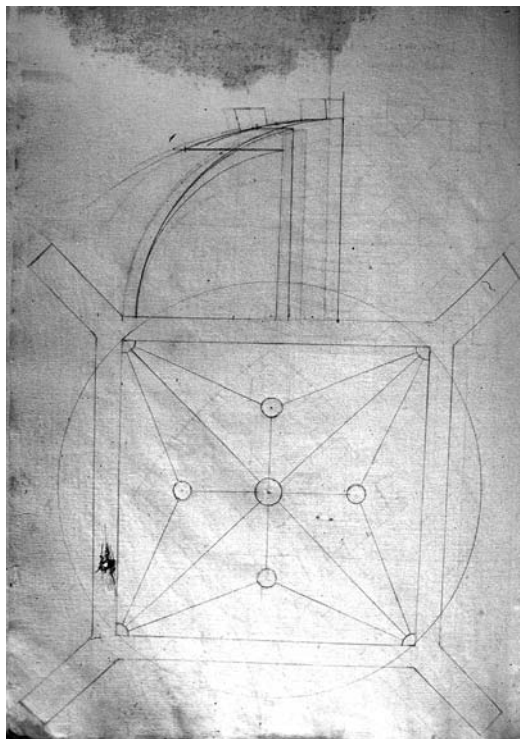


Figura 1  
Trazo de una bóveda de crucería en el cuaderno de Hernán Ruiz (1558).

Procurando reproducir los detalles y procedimientos que conocemos acerca de la construcción de bóvedas de crucería góticas,<sup>2</sup> comenzamos por diseñar los perfiles de los nervios. Aunque no hay estudios muy sistemáticos al respecto –probablemente por la dificultad de la observación–, podemos decir que los nervios góticos quedan a veces inscritos en un rectángulo, en especial si son gruesos, como suele suceder con los perpiaños, y en el resto de los casos suelen presentar un estrechamiento desde el extradós al intradós, quedando éste reducido a una quilla, con frecuencia en forma de baquetón. También hemos observado que, en este último caso, aunque hay muchas posibilidades, abunda la disposición de molduras según el ritmo convexo-cóncavo-convexo-cóncavo-convexo, de manera que, además del baquetón central, se disponen otros dos rollos laterales. Suponemos que éstos pueden facilitar la manipulación,

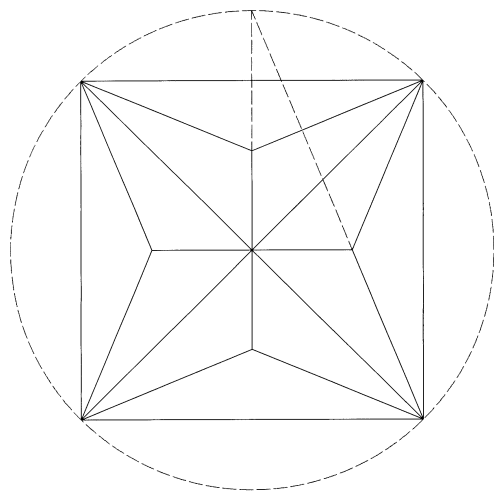


Figura 2  
Esquema habitual para el trazado de los terceletes.

sirviendo de lugar de agarre de la pieza con las manos, o bien con tenazas.

Los perfiles se han diseñado con diversos cantos según el oficio del nervio, terceletes y ligaduras menores que los ojivos y éstos que los del perímetro. En cuanto a esto, en un primer momento quisimos seguir las conocidas recomendaciones de Rodrigo Gil de Hontañón (García [1681] 1990), quien establece el canto de cada uno en relación a la luz de la bóveda, pero la aplicación de esas proporciones daba lugar a unos nervios muy esbeltos para una bóveda de este tamaño. No parecía que el escaso canto obtenido pudiera representar un problema estático, pero la ejecución de las molduras a tan reducido tamaño era ridícula, y, de seguir las recomendaciones de Rodrigo Gil, la apariencia final se habría acercado más a una maqueta de bóveda grande que a un modelo de bóveda mediana o pequeña. No nos ha cabido duda de que las proporciones de Rodrigo Gil se pensaron para las bóvedas de una nave amplia, pero no valen para tamaños más modestos.

En cuanto a la geometría y la talla, los puntos problemáticos de una bóveda de crucería son los enjarjes y las claves, es decir, aquellos lugares en los que se reúnen los nervios. El resto –si descontamos la plementería, que no es un problema propiamente estereotómico– son simples dovelas que conforman

unos nervios que siguen arcos de circunferencia. Es decir, no contienen problemas de traza ni de talla. Sin embargo, se ha hecho evidente que la ejecución de las molduras de estas dovelas, en una longitud total de 30 metros (contando las diversas variantes de arcos, pero sólo en sus tramos compuestos realmente de dovelas), representa un trabajo de labra notable y monótono.

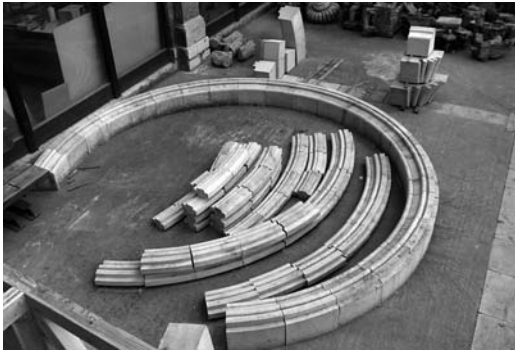


Figura 3  
Las dovelas de los nervios.

El enjarje se ha realizado según los métodos convencionales, es decir, determinando con los perfiles de los nervios las líneas perimetrales de los lechos superior e inferior, y labrando la zona exterior moldurada a sentimiento, de manera que una las dos secciones horizontales (figura 4). Es decir, el cantero debía observar cuándo una moldura está en un lecho pero no en el siguiente, para hacerla desaparecer entre ellos. En cuanto a esto no ha habido problema, aunque es cierto que disponíamos de modelados infográficos que mostraban la forma a obtener, lo que evidentemente no estaba al alcance del constructor gótico.

Para la comprobación de las formas molduradas los tallistas han empleado cerchas o reglas curvadas. Cada nervio presenta una curvatura y exige una cercha distinta. Pero además, no es igual la curvatura de la línea de intradós que la de otras líneas más alejadas del centro del arco (laterales o más traseras). La experiencia ha demostrado que es suficiente emplear una curva para cada baquetón: si bien esta curva sólo

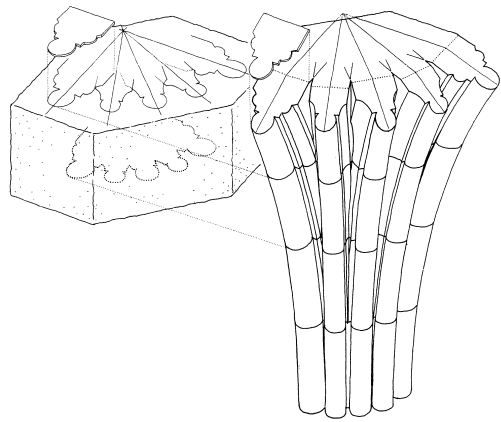


Figura 4  
Procedimiento general de labra de una pieza del enjarje.

podría coincidir con el baquetón en un lugar (en el caso de la quilla, por ejemplo, justamente sobre el plano de simetría de la dovela), su aplicación en toda la redondez no ha dado lugar a errores graves.

Además, los canteros han utilizado pequeñas contraplantillas para comprobar la correcta convexidad de los baquetones. Habiendo visto de cerca algunas bóvedas de crucería, estoy persuadido de que los constructores góticos no extremaban la precisión hasta ese punto. De hecho en las viejas bóvedas hay algo de vibración producida por las imperfecciones y licencias en la labra y por las deformaciones sufridas a lo largo del tiempo. Hubiera sido ridículo obligar a los alumnos de una escuela taller a reproducir defectos; pero, como consecuencia, por su perfección y limpieza, ha resultado finalmente una bóveda de textura algo más cercana a las decimonónicas que a las más antiguas.

Para el diseño del enjarje se ha buscado con rigor la altura mínima necesaria para garantizar que los nervios ya están claramente separados unos de otros. Ya Viollet-le-Duc ([1859] 1996) se ocupó de este tema en un caso sencillo,<sup>3</sup> empleando métodos propios de la geometría descriptiva, pero hemos aprovechado la ocasión para estudiarlo de manera más general. Sólo como apunte señalaremos que no basta con garantizar que, a la altura escogida, la sección o perfil de cada nervio está desgajado del resto, sino también que su perfil no queda parcialmente encima

de alguna parte de otro nervio; en la figura 5, es la diferencia entre las soluciones a, cortada a la altura 1, donde en apariencia quedan ya separados, y b, cortada a la altura 2 (estando 1 y 2 sobre la misma vertical). Es decir, no es probable que el constructor gótico buscara la solución estricta, como nosotros hemos hecho, y seguramente se daría por contento adoptando para la altura del enjarje una superior a la estricta, estimada intuitivamente -lo que no es demasiado difícil, especialmente teniendo en cuenta que el error en esto es subsanable sobre la marcha-.

Para dar mayor altura y realce a la bóveda se han añadido dos piezas bajo el enjarje que corresponderían ya propiamente al pilar.

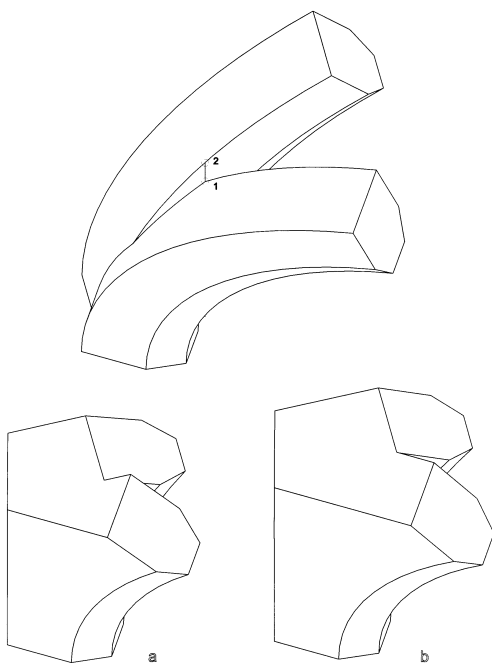


Figura 5  
Altura que garantiza la separación de los nervios.

Para la ejecución de las claves se ha seguido también el método que he explicado en otros lugares (figura 6).

En el proceso de trazado de la clave central sobrevino ya una condición que no habíamos previsto. A

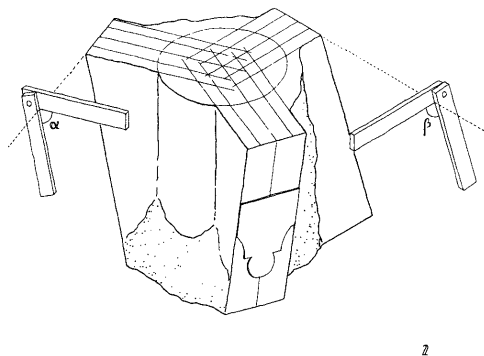
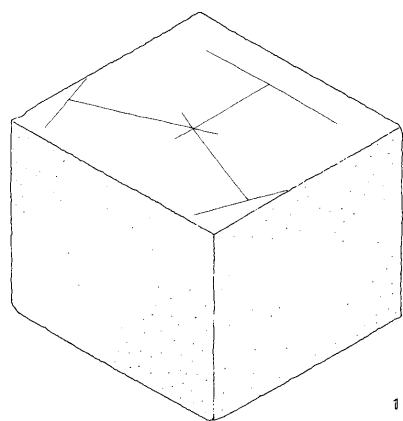


Figura 6  
Procedimiento general de labra de una clave.

ella llegaban, según las decisiones tomadas inicialmente, nervios con cantos diversos. La línea relevante, en el diseño de los nervios, es el intradós, la línea común a la cimbra y el arco, y la responsable, visualmente, de la apariencia del conjunto. Nosotros hemos detallado el desarrollo de todos los arcos con su canto completo, incluso su despiece en dovelas, pero esto no debió de ser frecuente históricamente. Muchos de los trazados que conocemos presentan sólo una línea. Al coincidir nervios de cantos diversos en una clave, conviene que sus niveles se igualen en el trasdós, y no en el intradós, para evitar cambios bruscos en la plementería que sobre ellos se apoya. Si en todo el resto del trazado tenemos en

consideración el intradós, hay que prever esa pequeña diferencia.

Como las dovelas presentan una cola en el trasdós, para el apoyo de las hiladas de la plementería, las calles laterales que la flanquean llegan hasta la clave y pueden rodearla, o no. Hemos tomado la primera opción.

Las claves se tallaron a partir de la superficie horizontal que finalmente queda en la parte superior. Con frecuencia esta superficie contiene, acabada la pieza, el círculo del cilindro y las acometidas de los nervios. Lo podemos ver en el trasdós de algunas bóvedas cuando la clave emerge de la capa de mortero de cal que cubre la superficie. En nuestro caso se ha recortado esa esquina.

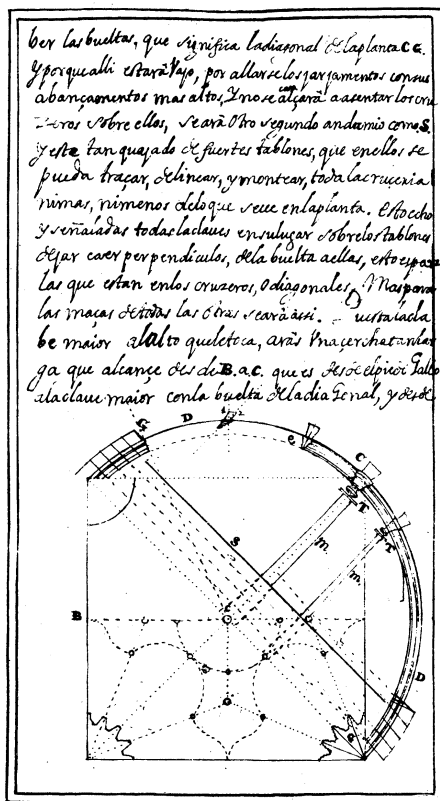


Figura 7  
La superficie horizontal de trabajo que recomienda Rodrigo Gil (García [1681] 1990).

Para el montaje hemos seguido las instrucciones de Rodrigo Gil (García [1681] 1990). Se ha establecido una superficie horizontal de tableros aglomerados (la «bien cuajada de tableros» del texto de Hontañón, figura 7), justamente donde termina el enjarje y comienza el recorrido independiente de los nervios. Sobre ella se ha situado la proyección de las claves. Se han colocado pies derechos de madera con la altura adecuada, con una zapata de remate, para posar las claves. Y entre las claves cimbras para colocar las dovelas de los nervios (figura 14).



Figuras 8 y 9  
Montaje de la estructura para establecer la plataforma.

La plataforma se ha montado sobre un andamiaje compuesto de piezas planas fácilmente desmontable, para posibilitar la construcción de la bóveda en otro lugar.

Como hemos explicado, el enjarje se diseñó con la altura mínima estrictamente necesaria para garantizar

que todos los perfiles quedan ya separados. Por eso tiene más relevancia observar que el conjunto del enjarje ha presentado un centro de gravedad cuya vertical casi sale de la base. Naturalmente, la plataforma horizontal y la estructura que la sostiene, bastaron para ofrecer ese apoyo y evitar ese vuelco en los primeros momentos del montaje.

La pieza superior del enjarje, la que ya dispone los lechos de las dovelas con su tirantez hacia el centro del arco, fue levantada con el auxilio de castañuelas, para ilustrar este viejo procedimiento.

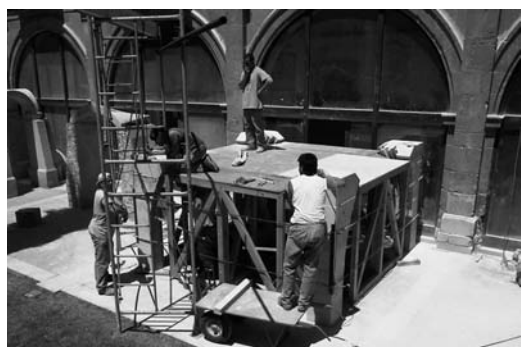


Figura 10  
La plataforma establecida donde termina el enjarje.

Sobre las cimbras de los nervios no teníamos ningún dato. Como los perfiles se diseñaron con forma de quilla y baquetones laterales, resultaba lógico establecer dos tableros paralelos, enlazados rígidamente con tacos que mantienen su separación, para encajar entre ellos las dovelas. Luego he podido comprobar que esta solución ha sido adoptada ya con anterioridad (se puede ver algún caso en López Collado 1976), y, aunque no con tableros cortados con la perfección y el espesor de los actuales, es posible que la construcción tardogótica siguiera un sistema semejante.

Estas cimbras eran suficientes para asegurar la verticalidad de los pies derechos, pero en una bóveda mayor seguramente sería necesario asegurarlos con apeos.

En las imágenes se puede ver el proceso de montaje. Con las dimensiones adoptadas, los nervios de-



Figuras 11 y 12  
Colocación de una pieza del enjarje con ayuda de las castañuelas.

ban espacios para la plementería bastante angostos, pero eso ocurriría también en las bóvedas mayores que estuvieran cuajadas de nervaduras y claves.

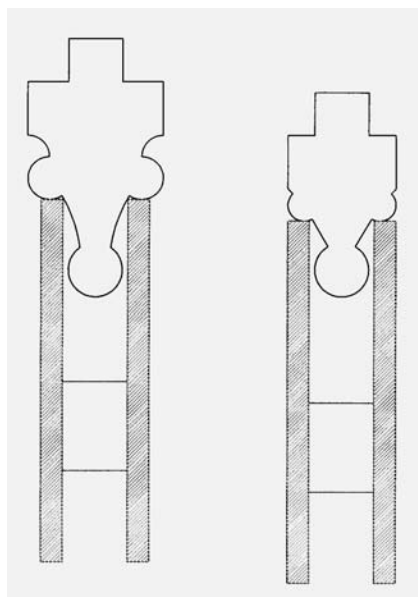
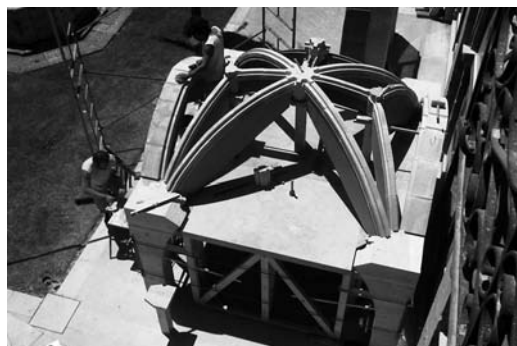


Figura 13  
Perfiles de los nervios sobre las cerchas.

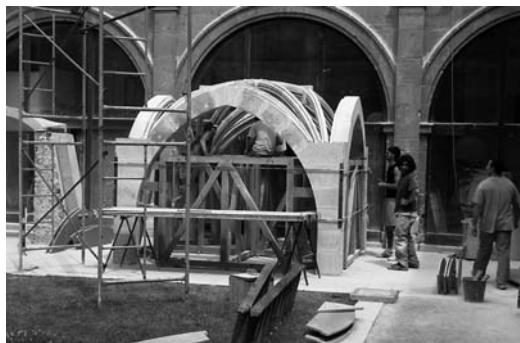


Figuras 14, 15, 16, 17, 18  
Proceso de montaje.

Para descimbrar se retiraron las cuñas de las cerchas, procurando simultanear los ojivos y las parejas opuestas de cumbres. No se observó ningún movimiento ni crujido, aunque los tirantes quedaron algo más tensos.

Aún no se ha ejecutado la plementería, para la que se había previsto reproducir las explicaciones del





Figuras 19, 20  
Descimbrado.

manuscrito del mallorquín Gelabert ([1653] 1977). Este texto, que he traducido al castellano con la ayuda del profesor Ramón Garriga y se publicará también próximamente en edición crítica, es el único que explica cómo se hace la plementería, aunque es cierto que se trata de una plementería de lajas enterizas de piedra, tardía y de tradición local.

## NOTAS

1. Agradezco al Profesor Santiago Huerta sus comentarios sobre la estabilidad.
2. En cuanto a esto me remito a Rabasa (2000) y (1996), donde se explica de manera general. La experiencia ha demostrado que al menos esos procedimientos son posibles y razonables.
3. Véase la figura 48 bis de Viollet-le-Duc ([1859] 1996), es decir, de la voz «Construction» del *Dictionnaire raisonné*.

Figuras 21, 22, 23, 24  
La nervadura terminada.



## LISTA DE REFERENCIAS

- García, Simón. [1681] 1990. *Compendio de arquitectura y simetría de los templos...* (facsimil de manuscrito). Valladolid: COAV. 1990.
- Gelabert, Joseph. [1653] 1977. *De l'art de picapedrer*. (facsimil de manuscrito) Palma de Mallorca: Diputación.
- López Collado, Gabriel. 1976. *Las ruinas en construcciones antiguas*. Madrid: MOPU.
- Rabasa, Enrique. 1996. «Técnicas góticas y renacentistas en el trazado y la talla de las bóvedas de crucería españolas del siglo XVI». En *Actas del Primer Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, 423–433. Madrid. Instituto Juan de Herrera.
- Rabasa, Enrique. 2000. *Forma y construcción en piedra: de la cantería medieval a la estereotomía del siglo XIX*. Madrid: Akal.
- Ruiz, Hernán. 1558–60. *Arquitectura*. Manuscrito conservado en la Biblioteca de la ETS de Arquitectura de Madrid.
- Viollet-le-Duc. [1859] 1996. *La Construcción medieval*. Editado por E. Rabasa y S. Huerta. Madrid: Juan de Herrera, CEHOPU.